

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عمار تليدي - الأغواط
UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI-LAGHOUAT

كلية العلوم
FACULTÉ DES SCIENCES

قسم البيولوجيا
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

Réalisé en vue de l'obtention du diplôme du Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biochimie Appliquée

THÈME

**Évaluation de l'activité antifongique de l'huile
essentielle de *Mentha piperita* vis-à-vis de *Fusarium
graminearum* et *Fusarium culmorum***

Présenté par :

- LAGRAA Majda
- SAHNOUNE Ahlem

Devant le jury constitué de :

Présidente:	Mme AOUISSI Hadjer	M.CB	(ENS Taleb Abderrahmane, Laghouat)
Examinatrice :	Mme BOUSSOUSSA Hadjer	M.CA	(Université Amar Telidji, Laghouat)
Rapporteur:	M. QUINTEN Mohamed	Professeur	(Université Amar Telidji, Laghouat)
Co-Rapporteur:	Mme EL HOUTI Fatiha	M.CB	(Université Amar Telidji, Laghouat)

Soutenu publiquement le : Le 14/10/2020

Dédicace

Je dédie ce travail à mes très chers parents, qui m'ont soutenue et encouragée durant toutes mes années d'études, à mes chères sœurs et mon cher frère, à toute ma famille, à Ahlem, mon binôme, et à tous mes amis et amies.

Lagraa Majda

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À mes très chers parents, qui m'ont soutenue durant toutes mes années d'études,
À mon très cher mari.*

À Chahine Chihab dine, mon très cher fils,

À mes très cher frères (Ismail ; Omar).

À mes très chères sœurs, Achoura, Ikram, Chaima, Fatima (Tamtam),

À ma grande famille, Sahnoune et Boudrbala,

À ma belle-famille, Maroufi.

À Majda, mon cher binôme, qui a partagé la difficulté de ce travail,

À tous mes amis et amies.

Sahnoune Ahlem

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que la confiance pour dépasser toutes les difficultés. Aussi, de nous avoir donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

A nos très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières, tout au long de nos études.

A notre encadreur M. OUINTEN Mohammed, Professeur au département de biologie, pour avoir accepté de diriger ce travail.

A notre Co-encadreur Mme EL HOUITI Fatiha, Docteur au département de biologie, pour son précieux et minutieux encadrement, tout au long de notre travail expérimental, ainsi que la patience et la confiance qu'elle nous a prodigué.

Aux membres du jury :

Pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions et remarques inestimables.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Au personnel du laboratoire de recherche fondamentale,

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier la stabilité de la composition chimique et l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Mentha piperita* dans le temps. L'huile a été préalablement extraite avec hydrodistillation et conservée dans des conditions favorables pendant trois ans.

L'analyse chimique par chromatographie en phase gazeuse (CPG) nous a permis d'identifier, au total, vingt-six constituants chimiques. Les composés majoritaires qui caractérisent l'huile essentielle de *Mentha piperita* sont le Pipéritone (53,8%) et le Limonène (31,16%).

L'huile testée a révélé une activité antifongique importante vis-à-vis de *Fusarium graminearum* et *Fusarium culmorum*, avec un pourcentage d'inhibition intéressant allant, respectivement, jusqu'à (84,58%) et (61,67%) à une concentration de 1 mg/ml.

Mots clé : *Mentha piperita*, huile essentielle, composition chimique, activité antifongique, *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*.

Abstract

The purpose of this work is to study the stability of chemical composition and antifungal activity of the essential oil of *Mentha piperita* over time. The oil was previously extracted with hydrodistillation and preserved under favourable conditions during three years.

The chemical analysis by gas chromatography (GC) allowed us to identify twenty-six chemical constituents. The majority compounds that characterize the essential oil of *Mentha piperita* are Pipéritone (53.8%) and Limonène (31.16%).

The essential oil revealed a significant antifungal activity against *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum*, with an interesting inhibition percentage up to (84.58%) and (61.67%), respectively, at a concentration of 1 mg/ml.

Key words: *Mentha piperita*, essential oil, chemical composition, antifungal activity, *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*.

ملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة استقرار التركيب الكيميائي و النشاط المضاد للفطريات للزيت العطري لنبته النعناع الفلفلي على مر الزمن. تم استخراج الزيت مسبقا بتقنية التقطير المائي وتخزينه تحت ظروف مناسبة خلال ثلاثة سنوات.

استطعنا عن طريق نتائج التحليل الكروماتوغرافي الغازي من التعرف على ستة و عشرون مركب كيميائي. المكونات الغالبة التي تميز الزيت العطري لنبته النعناع الفلفلي هي البيبيريتون (53,8%) و الليمونين (16,31%).

اظهر الزيت العطري الذي تم اختباره نشاطا مضادا للفطريات مهما بالنسبة لـ *Fusarium graminearum* و *Fusarium culmorum* بنسبة تثبيط معتبرة تصل الى (84,58%) و (61,67%) لتركيز 1 ملغ / ملل.

الكلمات المفتاحية: الزيت العطري، النشاط المضاد للفطريات، النعناع الفلفلي، التركيب الكيميائي، *Fusarium graminearum*

Fusarium culmorum

Table de matière

Liste des abréviations	I
Liste des Tableaux	II
Liste des figures	III
Introduction	5
I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	8
I.1. Les plantes aromatiques	8
I.2. Les huiles essentielles.....	8
I.2.1. Historique des huiles essentielles	8
I.2.2. Définition des huiles essentielles	10
I.2.3. Répartition, localisation et fonction des huiles essentielles	11
I.3. Procédé d'obtention des huiles essentielles par distillation	12
I.4. Activité biologique des huiles essentielles	13
I.4.1. Activité antimicrobienne	13
I.4.2. Activité antifongique	14
I.5. Fusariose	14
II. PARTIE MATERIELS ET METHODES	17
II.1. Matériel végétale	17
II.1.1. Description	18
II.1.2. Classification botanique.....	18
II.1.3. Conservation	19
II.2. Matériel fongique	20
II.2.1. Le fusarium.....	20
II.2.2. Les souches fongiques	21
II.2.2.1. Définition.....	21
II.2.2.2. Taxonomie des souches étudiées	23
II.3. Méthode expérimentale	24
II.3.1. Extraction de l'huile essentielle.....	24
II.3.2. Analyse chromatographique	25
II.3.3. Préparation des souches	27
II.3.4. Étude de l'activité antifongique	28
III. RESULTATS ET DISCUSSION.....	31
III.1. La teneur en huile essentielle	31
III.2. La Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Mentha piperita</i>	32
III.3. Activités antifongiques	36
III.3.1. La Cinétique mycélienne.....	36

III.3.2. Evaluation de l'activité anti fongique	38
Conclusion.....	42
Références bibliographiques	45
Annexe	50

Liste des abréviations

I (%) :	Pourcentage d'inhibition de la croissance de mycélium
Ø(mm) :	Diamètre en millimètres
CMB :	Concentration minimale bactéricide
CMF :	Concentration minimale fongicide
CMI :	Concentration minimale inhibitrice
CPG :	Chromatographie en phase gazeuse
Dk :	Diamètre de la culture fongique (en cm) dans un milieu sans huile essentielle (témoin)
Do :	Diamètre de la colonie mycélienne (en mm)
DON:	Déoxynivalénol
FC:	<i>Fusarium culmorum</i>
FG:	<i>Fusarium graminearum</i>
FHB :	Fusarium head blight
FID :	Détecteur à ionisation de flamme
HE :	Huile essentielle
IRL :	Indice de Rétention Linéaire
mMV :	Masse de matière végétale sèche
PAM :	Plantes aromatiques et médicinales
PDA :	Potato Dextrose Agar
VNI :	Nivalénol
ZEA :	Zéaraléno

Liste des Tableaux

Tableau 1 :	Caractéristiques systématiques de la plante étudiée.....	19
Tableau 2 :	Les codes et origines des souches fongique étudiées.....	21
Tableau 3 :	Les teneurs en huiles essentielles des plantes étudiées par Abdi et Moulai (2018), Bengana, (2018) et Djaber <i>et al</i> , (2019).....	31
Tableau 4 :	Composition chimique de l'huile essentielle de l'échantillon de <i>Mentha piperita</i>	34
Tableau 5 :	Mesure du diamètre en millimètre et le pourcentage d'inhibition des deux espèces <i>Fusarium graminearum</i> et <i>Fusarium culmorum</i> traitées avec différentes dilutions d'huile essentielle de <i>Mentha piperita</i>	38

Liste des figures

Figure 1 :	Méthode de distillation ancienne.....	9
Figure 2 :	La menthe poivrée.....	17
Figure 3 :	<i>Fusarium</i> sp. Observé au microscope photonique.....	20
Figure 4 :	Photo représentant le thalle de <i>Fusarium graminearum</i>	21
Figure 5 :	Photo représentant le thalle du <i>Fusarium culmorum</i>	22
Figure 6 :	Hydrodistillation avec un extracteur de type Clevenger.....	24
Figure 7 :	Le dispositif de la CPG.....	26
Figure 8 :	Ensemencement des souches sur milieu de culture solide.....	27
Figure 9 :	Ensemencement par la technique de contact direct.....	29
Figure 10 :	Répartition en (%) des composés majoritaires de l'huile essentielle de <i>Mentha piperita</i>	33
Figure 11 :	La cinétique de la croissance mycélienne de la souche de <i>Fusarium graminearum</i> en fonction du temps et en présence de différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Mentha piperita</i>	36
Figure 12 :	La cinétique de la croissance mycélienne de la souche de <i>Fusarium culmorum</i> en fonction du temps et en présence de différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Mentha piperita</i>	36
Figure 13 :	L'activité antifongique de l'HE de <i>Mentha piperita</i> à différentes concentrations sur les deux espèces de <i>Fusarium</i>	39
Figure 14 :	Du milieu de culture PDA préparé.....	53
Figure 15 :	Profil chromatographique de l'huile essentielle de <i>Mentha piperita</i> obtenue par CPG.....	54

Introduction

Introduction

Les plantes médicinales sont les principales sources des composants de médicaments dans la médecine moderne (Mathe, 2015).

Les métabolites secondaires (alcaloïdes, produits phénoliques, terpénoïdes...) des plantes médicinales fournissent des principes actifs, et plus de 180 principes thérapeutiques d'origine naturelle (Alamgir, 2017). Ces substances sont utilisées en médecine moderne (par exemple, l'ajmalicine, l'allicine, l'aspirine et l'artémisinine). En plus des sources sauvages, les plantes médicinales sont désormais cultivées par des méthodes agronomiques et biotechnologiques, pour répondre à l'exigence de leur douceur et de leur qualité, aux consommateurs et au marché. Le marché international est en expansion ; environ 2500 espèces de plantes médicinales y sont enregistrées (Alamgir, 2017). À cet égard, l'utilisation polyvalente des huiles essentielles est prometteuse. (Mathe, 2015).

Les huiles essentielles (HE) sont des produits végétaux naturels très intéressants et, entre autres qualités, elles possèdent diverses propriétés biologiques. Le terme "biologique" comprend toutes les activités de ces mélanges de composés volatils (principalement des mono- et sesquiterpénoïdes, des benzénoïdes, des phénylpropanoïdes... etc.) (Hüsni Can Baser et Buchbauer, 2016).

Les huiles essentielles sont des métabolites secondaires volatiles se trouvant dans différentes parties des plantes : fleurs, feuilles, écorces et racines. Généralement, ce sont des antiseptiques, antibactériens, antifongiques, vermifuges et stomachiques. De nos jours, on dénombre environ 600 essences utilisées en aromathérapie et dont l'essor s'étend dans le domaine médical et touristique (Lucienne, 2010 *in* Bengana, 2018).

Non seulement les huiles essentielles sont exploitées pour leur effet biologique mentionné ci-dessus mais sont, aussi, utilisées désormais dans l'agriculture comme fongicide biologique grâce à leur effet antifongique contre les champignons qui touchent les plantes cultivées.

La fusariose est une maladie des céréales dites "à petits grains" que l'on retrouve partout dans le monde. Le nom donné à *Fusarium* est relié à l'allure fusiforme de ses spores (Parry *et al.*, 1995 *in* Ballois, 2012).

L'importance économique de la fusariose est attribuée aux pertes de rendements considérables (avortement des fleurs, diminution du nombre et du poids des grains) et à l'altération de la qualité des grains (Pirgozliev *et al.*, 2003 *in* Ballois, 2012) ; ce qui a des conséquences néfastes lors des processus de transformations industrielles des grains. En plus des pertes de production, certaines espèces de *Fusarium* présentes sur les céréales peuvent conduire à la contamination des grains par diverses mycotoxines. Ces métabolites secondaires produits par les champignons présentent une toxicité avérée vis-à-vis de nombreux organismes.

Certaines espèces de *Fusarium* qui infectent les céréales peuvent produire une ou plusieurs mycotoxines. Parmi les fusariotoxines, les plus rencontrées, présentes sur les céréales en Europe, les trichothécènes, les fumonisines et la zéaralénone (Ballois, 2012). Le déoxynivalénol est une toxine appartenant à la famille des trichothécènes. Il est produit principalement par les espèces *Fusarium graminearum* et *Fusarium culmorum* (Gutleb *et al.*, 2002 *in* Abdi et Moulai, 2018).

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à la composition, la stabilité ainsi que la mise en évidence de l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Mentha piperita*.

Nous avons organisé notre travail en trois grandes parties :

- Partie I : la synthèse bibliographique sur les huiles essentielles et les moisissures ;
- Partie II : la description des plantes étudiées, l'étude expérimentale et les méthodes analytiques de notre travail ;
- Partie III : la présentation des résultats obtenus ainsi que leurs interprétations et discussion ;

Enfin, nous avons clôturé notre travail avec une conclusion suivie de perspectives, d'une liste de référencés bibliographiques et d'annexes.

Étude bibliographique

I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Les plantes aromatiques

Les plantes aromatiques se caractérisent par leurs odeurs et saveurs agréables, souvent utilisée dans la confection de parfums, de produits cosmétiques, en cuisine et dans les l'industrie pharmaceutique (Sukhdev *et al.*, 2008).

L'étude des plantes aromatiques remontent à plusieurs décennies. Elles ont été utilisées depuis l'Antiquité comme remède contre les maladies ou comme antalgiques naturels pour soulager les douleurs (Basen *et al.*, 2016).

Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) sont commercialisées en vrac par de nombreux pays en voie développement. Leur valeur dans les pays développés est supérieure (Sukhdev *et al.*, 2008).

On ne peut pas parler de plantes aromatiques sans citer les plantes médicinales. En effet, une partie des plantes aromatique et considérée comme médicinales et utilisée dans le domaine pharmacologique. Les plantes aromatique et médicinales (PAM) contiennent des substances biologiquement actives et à propriété thérapeutiques (Mathe, 2015).

De nos jours, les PAM présentent une valeur ajoutée car leurs extraits sont à la base de la production de médicaments, en utilisant plusieurs méthodes, allant de méthodes simples aux techniques d'extraction avancées (Sukhdev *et al.*, 2008).

I.2. Les huiles essentielles

I.2.1. Historique des huiles essentielles

Les plantes contenant des huiles essentielles ont été utilisée, depuis l'Antiquité, comme épices et remèdes pour traiter les maladies et, aussi, dans les cérémonies religieuses, pour leurs propriétés thérapeutiques et leurs odeurs. Selon certains chercheurs, l'utilisation de ces plantes aromatique remonte à 10.000ans Avant J-C (Basen *et al.*, 2016).

L'ancien physicien grec Hippocrate (460-377 ans Avant J-C), réfère comme étant le père de la médecine, a mentionné dans son traité "*Corpus Hippocratum*" approximativement 200 plantes médicinales y compris des plantes aromatiques décrivant leurs efficacités (Basen *et al.*, 2016).

Les plantes aromatiques étaient répandues en Asie. Des plantes telles que le thym, l'anis et la coriandre étaient, aussi, utilisées par les grecs, les romains et les anciens égyptiens (Basen *et al.*, 2016)

Les méthodes d'extraction des huiles essentielles des plantes aromatiques se différencient d'une population à l'autre mais la méthode ancienne, la plus connue et la plus utilisée, est la distillation (Basen *et al.*, 2016).

La distillation aurait été utilisée bien avant, en Turquie, en Iran et en l'Inde, 3000 Avant J-C. Cependant, les racines des méthodes de distillation et d'extraction des huiles essentielles sont attribuées à l'alchimiste musulman Avicenne (980-1037) (Basen *et al.*, 2016).

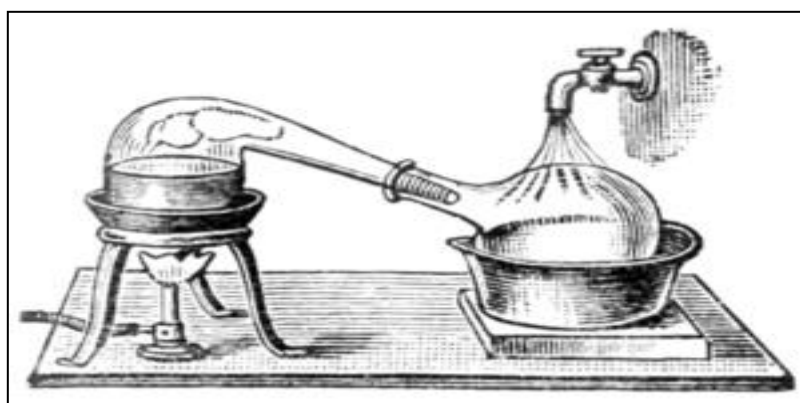


Figure 1 : Méthode de distillation ancienne

Au début du 16ème siècle, l'art de la distillation était utilisé pour préparer de l'eau aromatisée et les Huiles essentielles apparaissant en surface étaient considérées comme substances secondaires indésirables. C'est seulement aux 18ème et 19ème siècle que les huiles essentielles ont été prises en considération par les chercheurs, en étudiant leurs compositions (Basen *et al.*, 2016).

La première étude systématique des constituants des huiles essentielles était faite par le chimiste français M.T Dumas (1800-1884). Par la suite, le chimiste Wallach a classifié les différents terpènes en leurs accordant des noms différents, selon leur classification botanique ; souvent chimiquement identique (Basen *et al.*, 2016).

Les hydrocarbures contenus dans les huiles essentielles étaient connus sous la formule moléculaire de $C_{10}H_{16}$ nommé par Kekule ‘‘terpène’’, car ils apparaissaient dans l’huile de térébenthine (Basen *et al.*, 2016).

En 1891, Wallach a nommé les terpènes suivants : le pinène, le camphre, le limonène et d’autres. En 1899, les structures monoterpénique comme le géraniol, le linalol, le citral et plusieurs autres par F. W. Semmler et le chimiste russe G. Wagrer (Basen *et al.*, 2016).

Des améliorations significatives en structure des sesquiterpènes et diterpène, par l’application de la déshydrogénation et l’application des règles isoterpène à la chimie des terpènes ont été très efficaces par L. Ruzicka en 1953 à Zürich, Suisse (Basen *et al.*, 2016).

I.2.2. Définition des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont constituées de substances volatiles qui ont généralement un faible poids moléculaire. Ces substances sont issues du métabolisme secondaire des plantes aromatiques. Cependant, certains facteurs naturels, tels que les variations physiologiques, la génétique de la plante, les troubles climatiques et environnementaux et l’évolution de la plante, peuvent affecter la composition chimique et le rendement de l’huile essentielles (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

Les huiles essentielles sont des mélange complexes volatils, odorants produits par les plantes et isolés par des moyens physiques comme le pressage ou la distillation à partir d’une plante entière’ (Basen *et al.*, 2016) ou d’une partie comme la fleur, la feuille, la graine, l’écorce, ls fruit, la baie, les boutons floraux ou le bois (Bennouali, 2016).

On détermine une plante oléagineuse par la sécrétion et accumulation de substances volatiles dans les idioblastes sécrétoires (cellules sécrétrices) des cavités ou des trichomes (Basen *et al.*, 2016).

Les idioblastes sécrétoires sont des cellules individuelles qui produisent un taux élevé d’huiles essentielles qu’elles retiennent à l’intérieur de la cellule. On les trouve, généralement, dans les racines (Basen *et al.*, 2016).

Les cavités sont des espaces de stockage extracellulaire provenant d’une lysogénie, présente chez les Apiécées, les Pinacées, les Rutacées et les Myrtacées (Basen *et al.*, 2016).

Les trichomes sécréteurs ou glandulaire sont typiques des Lamiacées (familles de la menthe) et des Géraniacées (familles des géranium) (Basen *et al.*, 2016).

La composition des huiles essentielles est complexe. C'est un mélange de molécules différentes, contenant, particulièrement et principalement, des terpènes et des composés oxygénés (alcools, aldéhydes, cétones). (Bennouali, 2016).

Les principaux composés des huiles essentielles sont issus de trois voies de biosynthèse, uniquement : la voie mévalonate, menant aux sesquiterpènes, la voie méthyl érythrol, donnant les monoterpènes et les diterpènes, et en fin la voie de l'acide shikimique qui donne les phénylpropènes (Basen *et al.*, 2016).

I.2.3. Répartition, localisation et fonction des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont largement répandues dans le règne végétal et surtout chez les végétaux supérieurs. On compte 17.500 espèces aromatiques. Les plantes capables d'élaborer les constituants qui composent les huiles essentielles sont réparties dans un nombre limité des familles botaniques (les zingibéracées, la famille du Gingembre, par exemple) (Bellakhar, 1997 *in* Kellaf, 2017).

Les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes de la plante : dans les sommités fleuries (Menthe et lavande), les feuilles (Eucalyptus et laurier), les rhizomes (Gingembre), les fruits (agrumes, badiane et anis), les racines (Vétiver), les graines (Muscades) et, bien que cela soit moins habituel, dans des écorces (Cannelier) (Bellakhdar, 1997 *in* Kellaf, 2017).

Les huiles essentielles sont élaborées par des glandes sécrétrices qui se trouvent sur presque toutes les parties de la plante.

Elles sont sécrétées au sein du cytoplasme de certaines cellules où se rassemblent sous forme de petites gouttelettes comme la plupart des substances lipophiles (Gonzalez-Trujano *et al.*, 2007 *in* Kellaf, 2017).

La synthèse et l'accumulation des huiles essentielles sont généralement associées à la présence des structures histologiques spécialisés, souvent localisée sur ou à proximité de la surface de la plante. On en distingue : les cellules à huiles essentielles de Lauracées, les poils sécréteurs des Lamiacées, les poches sécrétrices, des Myrtacées et des Rutacées, et les canaux sécréteurs qui existent dans des nombreuses familles. Il est intéressant de remarquer que les

organes d'une même espèce peuvent renfermer des huiles essentielles de compositions différentes, selon la localisation dans la plante (Degryse *et al.*, 2008 in Kellaf, 2017).

Les fonctions des huiles essentielles sont diverses. Elles ont des rôles écologiques, de protection et communication. Elles agissent comme messagers internes, comme substances de défense et de protection, contre les herbivores, ou comme substances volatiles qui attire les insectes pollinisateurs (Basen *et al.*, 2016). Certains agents chimiques, secrétés et voyageant dans l'air, activent les gènes de défense d'autres plantes. C'est le cas du jasmonate de méthyle des Solanacées et Fabacées (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

I.3. Procédé d'obtention des huiles essentielles par distillation

Le terme "distillation" dérive du mot latin "distillare", qui signifie "ruissellement ». La distillation est définie comme "l'évaporation et la condensation subséquente d'un liquide" (Basen *et al.*, 2016).

La distillation est une opération de transfert de matière ayant pour but de séparer ou libérer les constituants d'un mélange liquide, homogène ou hétérogène. Elle consiste en l'ébullition d'un mélange liquide puis de la condensation des vapeurs obtenues, en un liquide « pur » ou en fractions plus ou moins riches en constituant des mélanges (Twaila et Motri, 2015).

(Basen *et al.*, 2016) « La définition d'une huile essentielle, ISO 9235, point 3.1.1 est "... produit obtenu à partir de matières premières végétales soit par distillation à l'eau ou à la vapeur d'eau" et au point 3.1.2 "... obtenus avec ou sans ajouter de l'eau dans l'alambic" (ISO/DIS 9235.2, 1997, p. 2) »

La méthode d'extraction des huiles essentielles, la plus simple, est l'hydrodistillation. C'est l'immersion de la biomasse végétale dans de l'eau bouillante. La matière végétale va absorber l'eau pendant l'ébullition et l'huile contenue dans les cellules à huile va diffuser à travers les parois cellulaires par osmose. Une fois que l'huile diffuse hors des cellules à huile, elle va être vaporisée et emportée par le flux de la vapeur (Basen *et al.*, 2016).

Les techniques conventionnelles telles que l'hydrodistillation est réalisée à l'aide d'un extracteur de type Clevenger, qui est la technique la plus répandue pour l'extraction des huiles végétales volatiles (Santana de Oliveira *et al.*, 2018). Le montage de cette technique est très simple. Il est constitué d'un extracteur Clevenger, d'un ballon à fond rond, d'un chauffe

ballon et d'un flux d'eau. L'extracteur Clevenger est constitué d'un réfrigèrent, une entrée pour l'eau froide et une sortie pour l'eau chaude, une soupape et un essencier.

I.4. Activité biologique des huiles essentielles

Les huiles essentielles se caractérisent par leurs propriétés thérapeutiques offrant plusieurs applications pharmacologiques, telles que les antioxydants, les anticancéreux, les anti-protistes, les antimicrobiens et les activités anti-inflammatoires. Des travaux récents ont montré que des espèces comme *Ocimum basilicum* et *Thymbra spicata* ont une très bonne activité antioxydante et aussi antimicrobienne contre *Staphylococcus aureus*, *Streptomyces murinus*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Yersinia enterocolitica*, *Proteus vulgaris*, *Candida albicans* et *Aspergillus niger* (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

Diverses méthodes sont utilisées pour évaluer les propriétés et l'efficacité antibactériennes et antifongiques. Les plus utilisées sont la méthode de diffusion sur disque d'Agar, la concentration minimale inhibitrice (CMI), la concentration minimale bactéricide (CMB) et la concentration minimale fongicide (CMF). L'utilisation de la méthode de diffusion sur disque dans l'agar est limitée par la nature hydrophobe des huiles essentielles et des extraits de plantes qui empêchent la diffusion uniforme à travers le milieu gélosé. Un nombre important de chercheurs rapportent les résultats obtenus avec la CMI et la CMB (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

I.4.1. Activité antimicrobienne

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles n'est pas encore totalement comprise. Mais il est établi que leur perméabilité à la paroi cellulaire des microorganismes en raison de leur composition chimique et synergique diversifiée les rend avantageux dans ce domaine (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

La caractéristique hydrophobe des huiles essentielles agit dans la partition et divise les lipides de la membrane cellulaire et des mitochondries. Ainsi, la perméabilité augmente et les ions et les molécules (lipides, protéines et acides nucléiques) sont extravasés ; ce qui conduit à la mort. Les huiles essentielles ont généralement une action moindre sur les bactéries gram+ que sur les bactéries gram-, à cause des interactions entre les composants hydrophobes des huiles essentielles et la membrane cellulaire (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles du rhizome Koen de *Hedychium coronarium* prise de différents endroits de l'Inde orientale a été étudiée sur des bactéries gram+ et gram- et des souches de champignons. C'est à dire, les bactéries gram+ sont plus sensibles à ces huiles que les gram-, car la couche de peptidoglycane n'a pas agi de manière sélective sur les composés d'huiles essentielles. Cette action antimicrobienne a été attribuée aux constituants de plusieurs facteurs tels que la méthode d'isolement, la synergie, l'additivité ou l'antagonisme. L'étude a révélé que les huiles essentielles avaient une action antifongique plus importante que l'activité antibactérienne. (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

I.4.2. Activité antifongique

Les huiles essentielles isolées de *Nepeta leucophylla*, *Nepeta ciliaris*, *Nepeta clarkei* et *Calamintha umbrosa* ont montré une activité antifongique significative *in vitro* contre les champignons phytopathogènes (responsables des maladies des plantes). Les huiles essentielles peuvent être utilisées comme biofongicide pouvant contribuer à une augmentation significative du pré et post durée de conservation des récoltes des cultures vivrières comme le blé, le seigle, et d'autres céréales (Santana de Oliveira *et al.*, 2018).

L'huile de la menthe poivrée a également été efficace pour inhiber la croissance des champignons pathogènes *Pythium sp.* et *Fusarium sulphureum* (à des concentrations de 0,5 % et 1,0 %) (Klimach et Wieczorek, 1996 *in* Lawrens, 2007)

I.5. Fusariose

Les champignons sont à l'origine des principales affections des plantes, avec environ 11.000 maladies directement attribuées aux champignons. (Surendra., Cuperlovic-Culf, 2017).

La fusariose est une maladie des céréales dites "à petits grains" que l'on retrouve partout dans le monde (Parry *et al.*, 1995 *in* Ameer et Rahmani, 2012). De 1998 à 2000, les pertes dues à la fusariose ont pu être estimées à près de 2,7 milliards de dollars dans les états du centre et du nord des Etats-Unis (Gautam, 2011 *in* Ameer et Rahmani, 2012). L'importance économique de la fusariose est attribuée aux pertes de rendements considérables (avortement des fleurs, diminution du nombre et du poids des grains) et à l'altération de la qualité des grains (Pirgozliev *et al.*, 2003 *in* Ameer et Rahmani, 2012) ; ce qui a des conséquences néfastes lors des processus de transformations industrielles des grains (Ameer et Rahmani, 2012).

La fusariose est principalement causée par *Fusarium graminearum*. C'est l'une des maladies les plus dévastatrices du blé et de l'orge. Sa prédominance est, sans cesse, en augmentation, due au changement climatique et aux pratiques agricoles. Le FHB provoque des pertes importantes de récolte et un rendement faible dû à la contamination des grains avec de puissantes mycotoxines, principalement le déoxynivalénol (DON) et les trichothécènes (Surendra., Cuperlovic-Culf, 2017).

Matériels et Méthodes

II. PARTIE MATERIELS ET METHODES

II.1. Matériel végétale

La menthe est l'une des plantes médicinales les plus célèbres. Elle est connue depuis longtemps. On a retrouvé, en effet, des feuilles de menthe séchées vieilles d'environ 3000 ans dans les pyramides égyptiennes. Tandis que les Grecs et les Hébreux s'en parfumaient, les Romains l'ajoutent dans leurs sauces. Au Moyen Âge, on découvre vraiment ses vertus thérapeutiques soit en calmants, en antiseptiques ou encore en anesthésiques, pour calmer la douleur (Addadi et Ferradji, 2014).

Le terme « menthe » est apparu dans la langue en 1275. Il vient du latin « mentha », qui l'a emprunté au grec « minthê ». (Monographie "Plants for a future" *Mentha piperita* in Addadi et Ferradji, 2014).



Figure 2 : La menthe poivrée

Originnaire d'Asie et de l'Europe médiévale, la menthe est un aromate très connu pour sa prolifération rapide. Libérant un parfum très fort et agréable, elle parfumait les temples grecs et les demeures des Hébreux. Elle éloignait également les puces (Addadi et Ferradji, 2014).

Elle est riche en vitamine C, en fer et en manganèse. Elle possède également des vertus antiseptiques, notamment des voies respiratoires, et se révèle également stimulante et anti-oxydante (Addadi et Ferradji, 2014).

De nos jours, elle est fréquemment utilisée en inhalation, pour combattre les rhumes et la toux, en infusion, pour favoriser la digestion, ou en bain de bouche à base de menthol (Addadi et Ferradji, 2014).

La menthe est cultivée depuis l'Antiquité en Chine et au Japon. En Égypte, des preuves d'un type de menthe poivrée ont été trouvées dans des tombes datant de 1000 ans avant J-C. Il a été largement utilisé dans Les médecines orientale et occidentale pour une variété de soins, notamment l'indigestion, les nausées, les maux de gorge, les diarrhées, les maux de tête, les maux de dents et la crampe (Lawless,2013).

Elle est couramment utilisée dans la pharmacopée britannique des plantes, pour soigner les coliques intestinales, les flatulences, le rhume et les vomissements, pendant la grossesse et la dysménorrhée (Lawless, 2013).

Elle est également aussi utilisée pour ses actions Analgésique, anti-inflammatoire, antimicrobienne, antiphlogistique, antiprurigineux, antiseptique, antispasmodique, antivirale, astringent, carminatif, céphalique, cholagogue, cordial, emménagogue, expectorant, fébrifuge, hépatique, nerveux, stomachique, sudorifique, vasoconstricteur, vermifuge (Lawless, 2013).

II.1.1. Description

Une herbe vivace jusqu'à 1 mètre de haut avec des extensions souterraines par lesquels elle se propage facilement (Lawless, 2013).

La menthe poivrée a des tiges et des feuilles vertes tandis que la menthe poivrée "noire" a des feuilles plus foncées ; des feuilles vertes dentelées, des tiges violacées et des fleurs rouge-violet (Lawless, 2013).

À l'origine, un hybride cultivé entre *M. viridis* et *M. aquatica*, dont on sait qu'il a été multiplié avant le dix-septième siècle en Angleterre. Naturalisé dans toute l'Europe et en Amérique, il est cultivé dans le monde entier. L'huile est produite principalement en France, en Angleterre, en Amérique, en Russie, en Bulgarie, en Italie, en Hongrie, au Maroc et en Chine (Lawless, 2013).

II.1.2. Classification botanique

Menthe, menthe Poivrée

Mentha piperita ou *Mentha piperita*. L

Synonymes : Brandy menthe, baume menthe

Tableau 1: Caractéristiques systématiques de la plante étudiée (Moulai et Abdi, 2018).

	Plante étudiée
Classification	<i>Mentha</i>
Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Gamopétales
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiacées
Genre	<i>Mentha</i>
Espèce	<i>Mentha piperita</i>

Il existe des sous classes appelées piperita, Black and Hairy Peppermints

Autres espèces : Il existe plusieurs souches ou chémotypes différents de menthe poivrée. En outre, il existe de nombreuses autres espèces de menthe, telles que menthe verte, menthe-pomme, pennyroyal, menthe aquatique et menthe-ananas. Seulement quelques-unes d'entre elles sont utilisées pour produire des huiles essentielles (Lawless, 2013).

II.1.3. Conservation

Le matériel végétal été préalablement récolté et séché à l'ombre, à l'abri de la poussière, dans un endroit sec et aéré, puis soigneusement stocké dans des sacs propres.

Avant l'extraction de l'huile essentielle, l'échantillon a été nettoyé d'abord de toutes les impuretés (d'autre plante, terre,) puis séparé les tiges des feuilles (Ameur et Rahmani, 2012).

II.2. Matériel fongique

II.2.1. Le fusarium

Le nom *Fusarium* est donné à un genre de champignons imparfaits (Deuteromycètes), qui comprend plus de 100 espèces. Les formes parfaites (téléomorphes) de quelques-unes d'entre elles sont connues, et appartiennent à la classe des Ascomycètes (ordre des Hypocréales, famille des Nectriacées, genres *Gibberella*, *Albonectria*, et *Haematonectria*). Pour plusieurs espèces de *Fusarium*, le stade parfait demeure encore inconnu. (Nodet et Olivard, 2020).

Le genre *Fusarium* tire son nom du latin “*fusus*” car ses spores sont en forme de fuseau. La première et véritable description du genre *Fusarium* a été réalisée par Link en 1809. Ce dernier a créé le genre pour des espèces présentant des spores cloisonnées, fusiformes, formées sur des stromas (Nodet et Olivard, 2020).

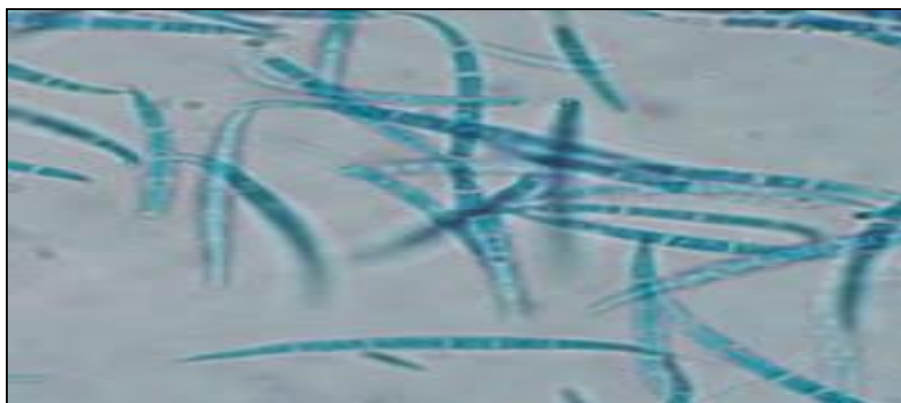


Figure 3 : *Fusarium sp* Observé au microscope photonique

Les *Fusarium* sont des formes asexuées de plusieurs espèces d'Ascomycètes. Leur position systématique est : *Fungi*, *Ascomycota*, *Pezizomycotina*, *Sordariomycetes*, *Hypocreomycetidae*, *Hypocreales*, *Nectriaceae*, genres *Gibberella*, *Albonectria*, *Nectria**, et *Haematonectria*. (Nodet et Olivard, 2020).

La classification des *Fusarium* a longtemps été basée sur leurs caractères morphologiques. Le principal caractère étant la présence de macroconidies fusiformes et

cloisonnées. Actuellement, nous utilisons principalement un classement dérivé de celui de Nelson *et al.*, (1983) qui regroupent les *Fusarium* dans 15 sections. Ce classement a été amendé par Burgess *et al.*, (1994), puis par d'autres chercheurs, grâce à l'utilisation des techniques de biologie moléculaire (Leslie et Summerell, 2006 *in* Nodet et Olivard, 2020). Ces techniques ont permis, notamment, de reclasser certaines variétés dans de nouvelles espèces (Carter *et al.*, 2000 ; Aoki et O'Donnel, 1999 ; Benyon *et al.*, 2000 *in* Nodet et Olivard, 2020).

II.2.2. Les souches fongiques

Tableau 2: les codes et origines des souches fongique étudiées.

Espèce	Code	Origine
<i>Fusarium graminearum</i>	91	MycSA INRA Bordeaux France
<i>Fusarium culmorum</i>	BTCR	Mycothèque TOUATI-HATTAB Sihem

II.2.2.1. Définition

Fusarium graminearum (téléomorphe : *Gibberella zeae*) est un agent pathogène du maïs, du blé, du riz et de l'orge. Il est responsable de la maladie connue sous le nom de fusariose de l'épi (FHB) et de la contamination par les mycotoxines (Kim, J.-E *et al.*, 2006 ; Malz, S *et al.*, 2005 *in* Cambaza, 2018).

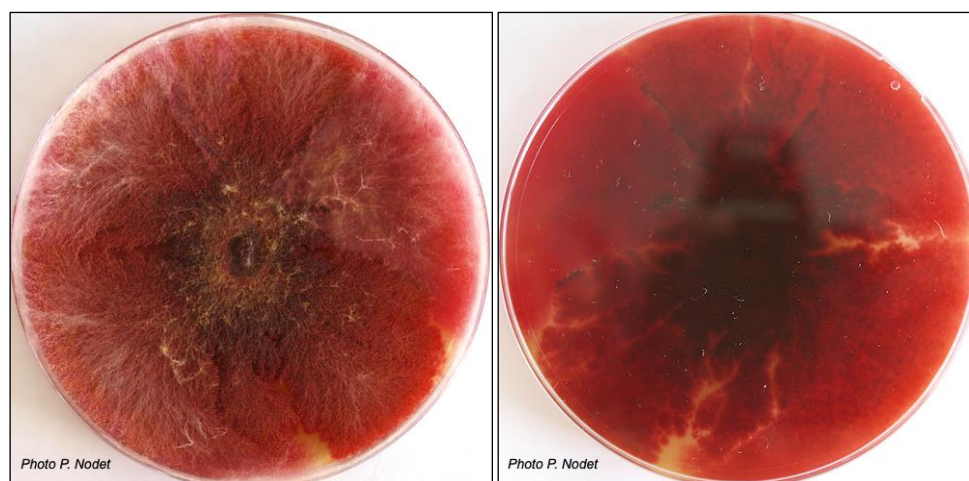


Figure 4 : Photo représentant le thalle de *Fusarium graminearum*

Les mycotoxines les plus courantes produites par la moisissure sont le nivalénol (VNI), le déoxynivalénol (DON) et la zéaralénone (ZEA) (Garcia-Cela *et al.*, 2018 ; Edgar

Cambaza, 2018). Elles sont fréquemment associées aux troubles gastro-intestinaux chez l'homme. (Weidenbörner, 2001 in Cambaza, 2018).

Le *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Sacc. Est un champignon ayant une capacité saprophytique hautement compétitive. En tant que parasite facultatif, il est capable de provoquer la pourriture des racines et la fusariose de l'épi (FHB), sur différentes céréales à petits grains, notamment le blé et l'orge. Le *Fusarium culmorum* est également connu comme un agent pathogène post-récolte ; en particulier sur les céréales fraîchement récoltées n'ayant pas été séchées ou stockées correctement (Aldred et Magan, 2004 ; Eifler *et al.*, 2011 ; Lowe *et al.*, 2012 ; Magan *et al.*, 2003, 2010 ; Scherm, 2013).

Céréales à petits grains, notamment le blé et l'orge. Le *Fusarium culmorum* est également connu comme un agent pathogène post-récolte ; en particulier sur les céréales fraîchement récoltées n'ayant pas été séchées ou stockées correctement (Aldred et Magan, 2004 ; Eifler *et al.*, 2011 ; Lowe *et al.*, 2012 ; Magan *et al.*, 2003, 2010 ; Scherm, 2013).

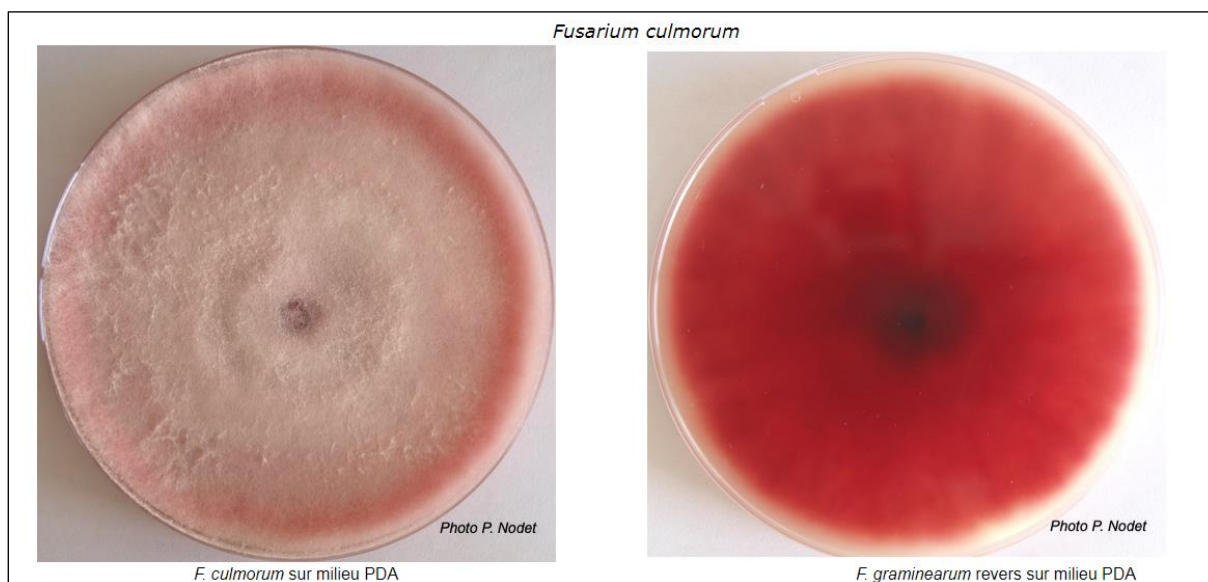


Figure 5 : Photo représentant le thalle du *Fusarium culmorum*

II.2.2.2. Taxonomie des souches étudiées

Règne :	Fungi,
Phylum, Dikarya, :	Ascomycota,
Sous-phylum :	Pezizomycotina,
Classe :	Sordariomycetes,
Sous-classe :	Hypocreomycetidae,
Ordre :	Hypocreales,
Famille:	Nectriaceae,
Genre :	Fusarium
Espèce :	<i>graminearum</i> <i>culmorum</i>

(Robert, V., *et al*, 2013)

II.3. Méthode expérimentale

II.3.1. Extraction de l'huile essentielle

L'extraction d'huile a été faite par hydrodistillation dans un appareil extracteur de type Clevenger.



Figure 6 : Hydrodistillation avec extracteur type Clevenger

Une quantité de plante séché de 100 g est introduite dans un ballon, d'un litre, immergé d'eau distillée. L'ensemble est porté à ébullition. Les vapeurs chargées d'huiles volatiles, traversent le réfrigérant, se condensent et chutent dans une ampoule à décanter dans laquelle se sépare le mélange en deux phases non miscibles, la phase supérieure qui contient l'huile essentielle et la phase inférieure qui constitue l'eau (Ameur et Rahmani, 2012).

Les hydro distillats obtenus sont quantifiés (en ml par kg de plante) puis séchés pour éliminer les traces d'eau avec du sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4). L'huile essentielle est conservé dans des tubes en verre, sellé et recouvert d'aluminium à 5C° au réfrigérateur a labri de la lumière (Ameur et Rahmani, 2012).

La teneur en huile (en %) est définie comme étant le rapport entre la masse d'huile extraite et celle de la biomasse de la plante traitée (Carré, 1953 *in* Belyagoubi, 2006 *in* Ameur et Rahmani, 2012). Elle est déterminée comme suite :

$$T \% = \frac{m1 \times 100}{m0}$$

Où :

- m 1** : masse huile essentielle (g)
- m 0** : masse de la matière végétale traite (g)
- T** : teneur en huile essentielle

La teneur en ml/kg, est déterminé comme étant le volume huile essentielle extraite en ml à partir d'un kilogramme de plante. Elle est déterminée par la formule ci-après (Hilan *et al*; 2005 in Ameur et Rahmani, 2012).

$$T' = \frac{v}{m}$$

Où :

- v** : volume huile essentielle extrait (ml)
- m** : prise d'essai initiale de matière végétale (kg)
- T'** : la teneur exprime (ml/kg)

II.3.2. Analyse chromatographique

Les huiles essentielles de l'échantillon est analysé par chromatographie en phase gazeuse (CPG). Ces analyses chromatographiques des composés volatils ont été effectuées, au Laboratoire de recherche des Sciences Fondamentales de l'université de Laghouat (LSF) à l'aide d'un appareil de la chromatographie en phase gazeuse de type GC-5400, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) et d'une colonne capillaire en silice fondue de type DB-5 (30 m × 0,32 mm ; épaisseur du film de 0,10 μm).

Le gaz vecteur utilisé est l'hydrogène ; avec un débit de 1 ml/min. La température de la colonne est programmée à raison d'une montée de 3 °C/min de 50 °C à 280 °C. La température de l'injecteur et celui du détecteur a été réglée à 220°C et 250°C, respectivement.

Les solutions des HEs sont préparées, en dissolvant 10 μ l de chaque HE dans 1 ml du solvant organique n-pentane.

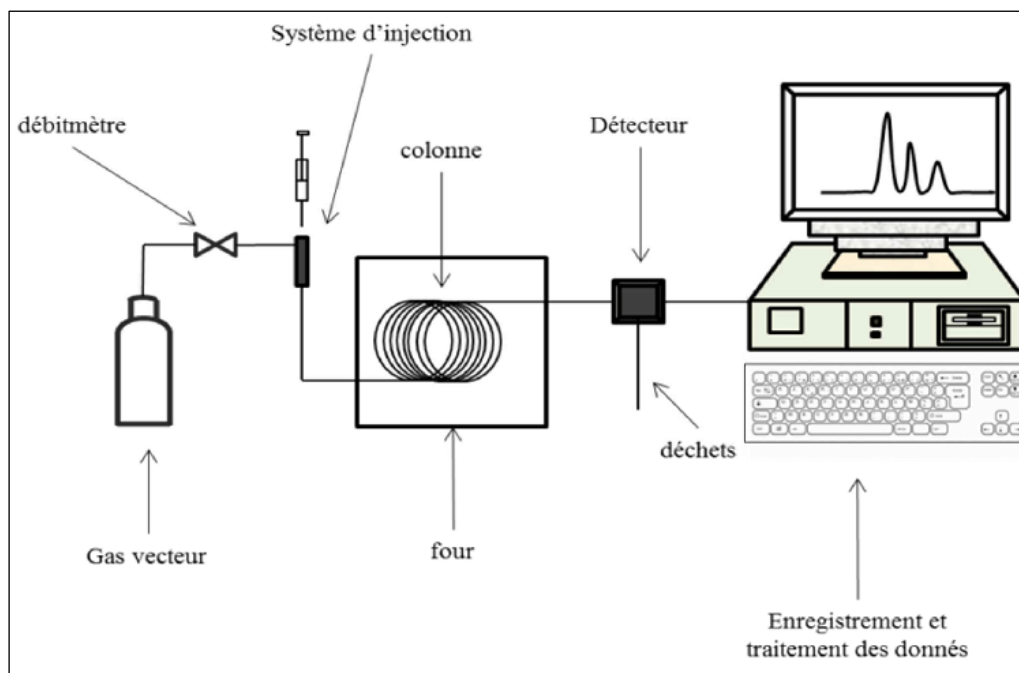


Figure 7 : Le dispositif de la CPG

L'identification des composés volatils a été effectuée sur la base d'une comparaison entre leurs indices de rétention relatifs, calculé par rapport à la série des n-alcanes (Soro *et al.*, 2015 in Djaber *et al.*, 2019).

La plupart des molécules ont été confirmées par comparaison de leurs indices de rétention avec ceux connus dans la littérature (Merghache *et al.*, 2009 in Djaber *et al.*, 2019).

L'indice de rétention des composés volatiles est calculé par la formule suivante :

$$\text{IRL} = 100n + 100 \left(\frac{\text{Tr}_x - \text{Tr}_n}{\text{Tr}_{n+1} - \text{Tr}_n} \right)$$

Où :

IRL : l'indice de rétention linéaire

n : le nombre de carbones de l'alcane précédant immédiatement le composé étudié

Tr [x] : le temps de rétention du composé étudié

Tr [n] : le temps de rétention de l'alcane précédant immédiatement le composé étudié

Tr [C (n+1)] : le temps de rétention de l'alcane à n+1 atomes de carbone suivant immédiatement le composé

II.3.3. Préparation des souches

Pour ensemercer les milieux de culture solides, nous avons transféré, au centre de chaque boîte, à partir d'une culture pur préparée préalablement, 4 à 5 disques de gélose contenant du mycélium sur un milieu PDA (voir annexe1) vierge, pour optimiser la distribution des souches dans la boîte de Pétri. L'incubation a été faite à $26 \pm 2^\circ\text{C}$, pendant 7 jours (Colin *et al.*, ; 1989 in Ameer et Rahmani, 2012).

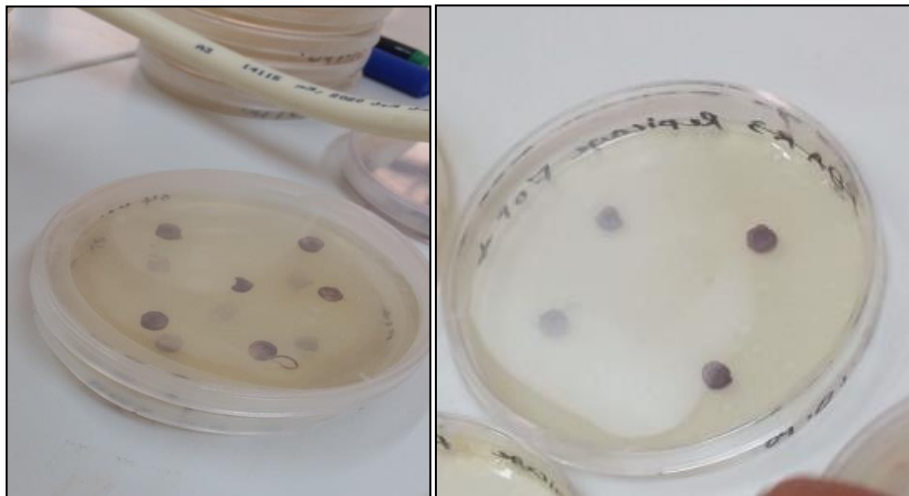


Figure 8 : Ensemencement des souches sur milieu de culture solide

II.3.4. Étude de l'activité antifongique

La méthode suivie pour mettre en évidence l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Mentha piperita* est celle du contact direct.

Une mise en émulsion de l'huile essentielle a été préalablement réalisée, en utilisant une solution d'Agar à 0,2 % (Remmal *et al.*, 1993 ; Satrani *et al.*, 2007 in Ameer et Rahmani, 2012), à cause de la non miscibilité de l'huile essentielle au milieu de culture. Cette pratique permet d'obtenir, dans le milieu, une répartition homogène des composés et augmenter, au maximum, le contact entre le germe et les composés (Ameer et Rahmani, 2012).

Des dilutions d'huile essentielle sont préparées, en allant de 1/200, 1/100, 1/50, 1/25, 1/10 jusqu'au 1/5, dans la solution d'agar à 0,2%. Dans des tubes à essai contenant chacun 13,5ml de milieu PDA gélosé stérilisé à l'autoclave (121C° pendant 20min) et refroidis à 45C°, on y ajoute 1,5 ml de chacune des dilutions de façon à obtenir le volume finale de 15ml /tube(v/v).

Puis les tubes ont été agités au vortex avant d'être versés dans les boîtes de Petri. Des tubes contenant le milieu de culture et la solution d'agar à 2% sans huiles essentielles sont également séparés et utilisés comme témoins (El Ajjouri *et al.*, ;2008 in Ameer et Rahmani, 2012).

L'ensemencement se fait par un dépôt d'un disque de gélose contenant du mycélium prélevé à partir de la périphérie du thalle provenant d'une culture de 7 jours sur PDA. Une culture en milieu PDA sans extrait a servi de témoin. L'incubation des cultures a été faite, à l'obscurité, pendant 7 jours à 26C°±2C° (Ameer et Rahmani, 2012).



Figure 9 : Ensemencement par technique de contact direct

Les cultures sont observées après 6 jours pour noter l'effet d'huile essentielle sur la croissance fongique. Le pouvoir fongicide de l'huile est déterminé par la réponse du repiquage de bouture du milieu gélose provenant d'une culture dans laquelle il n'y a eu aucun développement mycélien pendant les 7 jours (Ameur et Rahmani, 2012).

Nous avons déterminé l'action antifongique en comparant la croissance après le traitement avec celle de témoin, en utilisant la relation ci-après (Chang *et al*; 1999 in Cheng *et al*; 2008 in Ameur et Rahmani, 2012).

$$I\% = \frac{(Dk - Do)}{Dk}$$

Où :

I : taux d'inhibition de la croissance du mycélium en %

Dk : diamètre de la colonie mycélienne témoin (mm)

Do : diamètre de la colonie mycélienne de l'expérience (mm)

Résultats et Discussion

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. La teneur en huile essentielle

Le tableau 3 illustre les teneurs en huiles essentielles des plantes étudiées, respectivement, par Abdi et Moulai (2018), Bengana (2018) et Djaber *et al.*, (2019).

Tableau 3: les teneurs en huiles essentielles des plantes étudiées par Abdi et Moulai (2018), Bengana, (2018) et Djaber *et al.*, (2019).

Espèce	Durée d'extraction (h)	Teneur % (m/m)	Teneur (ml/kg)	Couleur de l'HE
<i>Mentha piperita 1</i> (Abdi et Moulai, 2018)	3	2	18	
<i>Mentha piperita 2</i> (Bengana, 2018)	3	1,69	18	
<i>Mentha piperita 3</i> (Djaber <i>et al.</i> , 2019)	3	2	18	

Les teneurs en huile essentielle exprimées en pourcentage ont été calculées à partir du poids de l'huile essentielle par rapport à la biomasse de la plante (Abdi et Moulai, 2018 ; Bengana, 2018 ; Djaber *et al.*, 2019). **Abdi et Moulai (2018)** ont noté une teneur de 1,69%, pour l'échantillon de *Mentha piperita* d'El Hadjeb. Cependant **Abadlia *et al.*, (2014)** ont déterminé une teneur de 0,64 % pour l'échantillon de *Mentha piperita* de la région de Tidis (Constantine) plante (Abdi et Moulai, 2018).

Bengana (2018) a noté une teneur en huile essentielle de *Mentha piperita* de 2% ; teneur supérieure à celle obtenue par **Abadlia et Chabbour (2014)** (Bengana, 2018).

Djaber *et al.*, (2019), ont noté une teneur de 2%. Elle est largement supérieure à 1% obtenue par **Benabdallah *et al.*, (2018)** dans la région de El-Kala (El Taref) et proche à 1,7% obtenu par **Soilhi *et al.*, (2019)** dans les habitats naturels de Tunisie (Djaber *et al.*, 2019).

III.2. La Composition chimique de l'huile essentielle de *Mentha piperita*

Dans ce travail, nous avons déterminé la composition chimique de l'huile essentielle de notre échantillon de *Mentha piperita*, à l'aide de chromatographie en phase gazeuse (CPG)(voir le profil chromatographique annexe 1).

Le résultat de l'analyse chromatographique nous a permis de déterminer la composition chimique et nous a permis d'identifier vingt-six sur quarante-quatre constituants chimiques, au total (tableau3).

L'identification des composés est réalisée en nous basant sur la comparaison de leur indice de rétention linéaire (IRL) avec des bases de données et avec ceux des données bibliographiques.

Cette analyse nous a permis d'identifier 26 composés représentant 94,8% de la composition globale de l'huile.

Les composés majoritaires de cette huile sont le Pipéritone (53,8%), le Limonène (31,16%).

D'autres tels que le β -Pinène (2,4%), α -Pinène (1,1%) , Menthol (1,29%) et α -Terpinène (0,1%) ont été mis en évidence mais en quantités moins importantes.

Les composés majoritaires de l'huile essentielle de *Mentha piperita* sont illustrés dans la figure 10.

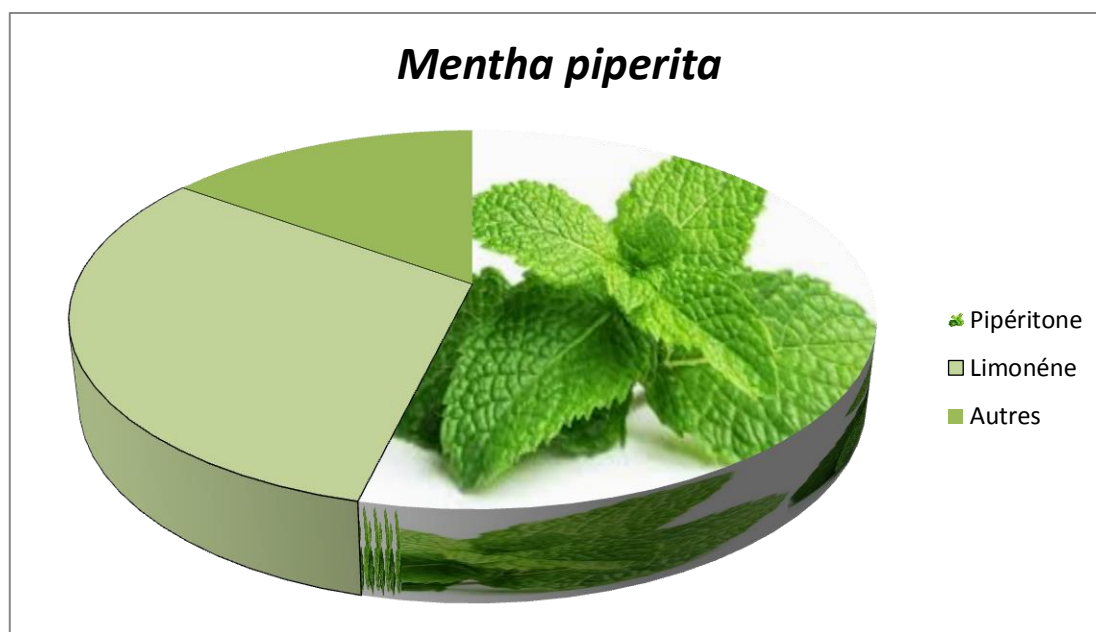


Figure 10 : Répartition en (%) des composés majoritaires de l'huile essentielle de *Mentha piperita*

Une comparaison de nos résultats avec les travaux effectués par **Abdi et Moulai (2018)**, sur l'huile essentielle de *Mentha piperita* permet de distinguer le Pipéritone (57,51%), le Limonène (28,29%), le Sabinène (2,05%) et le Trans-Isopulegone (1,06%) considérés comme composés majoritaires. Cependant, **Bengana (2018)** a révélé une forte teneur en monoterpènes oxygénés (60,50%) avec une dominance du Pipéritone (57,5%) avec deux composés minoritaires comme le Sabinène (2,05%) et le Trans-Isopulégone (1,06%) et, aussi, des hydrocarbures monoterpéniques, avec un pourcentage de 33,81% dont 28,29% de Limonène.

Djaber et al., (2019) ont trouvé comme composés majoritaires le Pipéritone (57,51%), le Limonène (28,29%), Sabinène (2,05%) et le Trans-Isopulegone (1,06%). Au Maroc, **Debbab et al., (2007)** ont trouvé le Linalool (60,72%) et le Linalyl acétate (20,79%) comme composés majoritaires. Tandis que dans une étude menée, en Arabie Saoudite, par **Desam Nagarjuna Reddy et al., (2017)** ont défini le Menthol (36,02%) et le Méthone (28,56%).

À Turin, Italie, **Tullio et al., (2019)** ont trouvés que l'huile de *Mentha piperita* était riche en monoterpènes oxygénés, comme composés majoritaires le Menthol (41,7%) et le Menthone (21,8%). En Slovaquie, **Pfuchtová et al., (2018)** ont prélevé un échantillon de *Mentha piperita* et après l'étude de sa composition chimique, ils ont défini le Menthol (49,3%) et le Menthone (22,4%) comme composés dominants. Au Brésil, **Ryan da Silva**

Ramos *et al.*, (2017), le Linalool (51,8%) est le composé majoritaire de l'huile essentielle. Les différents facteurs susceptibles d'influer sur la composition chimique des huiles essentielles sont : la famille botanique de la plante, l'organe producteur, l'existence de chimiotype et le cycle végétatif (Bruneton, 1993 *in* Djibo, 2000 *in* Abdi et Moulai, 2018).

Après la comparaison de nos résultats avec d'autres résultats issus de plusieurs autres études nous constatons que notre huile essentielle utilisée dans cette étude est restée stable pendant toute sa période de stockage de trois ans.

La variation de cette composition pourrait être également due à plusieurs facteurs à savoir la partie utilisée de la plante, le lieu de la croissance, les conditions climatiques, le procédé d'extraction, le moment de collecte, la qualité et différence du sol et les conditions de stockage (Baser et Buchbauer, 2010 *in* Abdi et Moulai, 2018).

Elle peut être, aussi, due à la qualité du sol, le stade de développement de la plante, ainsi que la durée de conservation, l'humidité, la température et même aux profils génétiques des espèces (Bengana, 2018).

Nos résultats de l'analyse chimique après identification sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau 4: Composition chimique de l'huile essentielle de l'échantillon de *Mentha piperita*..

N ^o a	Constituant ^b	Air du pic CPG (%) ^c	IRL*
1	-	0,07053	869,183
2	-	0,07648	909,358
3	α -Thujéne	0,06802	923,41
4	α -Pinéne	1,14	936,769
5	α -Fenchéne	0,1194	950,179
6	β -Pinéne	2,442	980,897
7	α -Phélladréne	0,8534	1002,028
8	-	0,5413	1009,951
9	α -Terpinéne	0,1951	1020,124
10	Limonéne	31,016	1035,376
11	Trans- β -Ociméne	0,2916	1043,299
12	γ -Terpinéne	0,1214	1053,191
13	Cis-Sabinéne-Hydrate	0,4041	1060,995
14	Linalool oxyde	0,7636	1074,233
15	Terpinoléne	0,119	1092,270
16	Cis-Thujone	0,1003	1107,619
17	Cis-Menth-2-en-1-ol-Cis	0,1127	1127,083
18	Néo Menthol	0,1664	1168,309
19	Terpinéne-4-ol	0,2555	1172,212

20	Menthol	1,296	1180,639
21	Myrténol	0,2854	1200,814
22	-	0,1689	1204,089
23	Verbénone	0,26	1207,39
24	Pulégone	0,1131	1237,425
25	Carvone	0,1654	1241,453
26	Pipéritone	53,8	1257,697
27	Thymol	0,08368	1285,472
28	-	0,1607	1290,700
29	Pipériténone	0,1029	1335,023
30	-	0,1033	1369,083
31	Carvacrol acétate	0,9225	1377,652
32	-	0,1444	1389,390
33	-	1,239	1409,872
34	-	0,1067	1420,420
35	-	0,08173	1435,220
36	-	0,1809	1453,629
37	-	0,7243	1471,627
38	-	0,1397	1486,988
39	-	0,3553	1493,93
40	-	0,2384	1570,580
41	-	0,07031	1606,794
42	-	0,08593	1635,547
43	-	0,1018	1649,620
44	-	0,06593	1679,865
Les hydrocarbures monoterpéniques		95,3415%	
Les monoterpènes oxygénés		52,4275%	
Les sesquiterpènes oxygénés		0%	

a : Composés énumérés dans l'ordre de leur élution .

b: Indice de rétention linéaires obtenus sur colonne DB-5, calculés par rapport à une série homologue de *n*-alcanes C8-C20.

c: Pourcentages obtenus par normalisation des aires des pics FID

III.3. Activités antifongiques

III.3.1. La Cinétique mycélienne

Les figures 11 et 12 représentent la cinétique de la croissance mycélienne des souches utilisées en fonction du temps et en présence de différentes concentrations de l'huile essentielle de *Mentha piperita*.

Le résultat de la croissance du mycélium traité avec l'huile essentielle, pendant la durée d'incubation sont présentés ci-après :

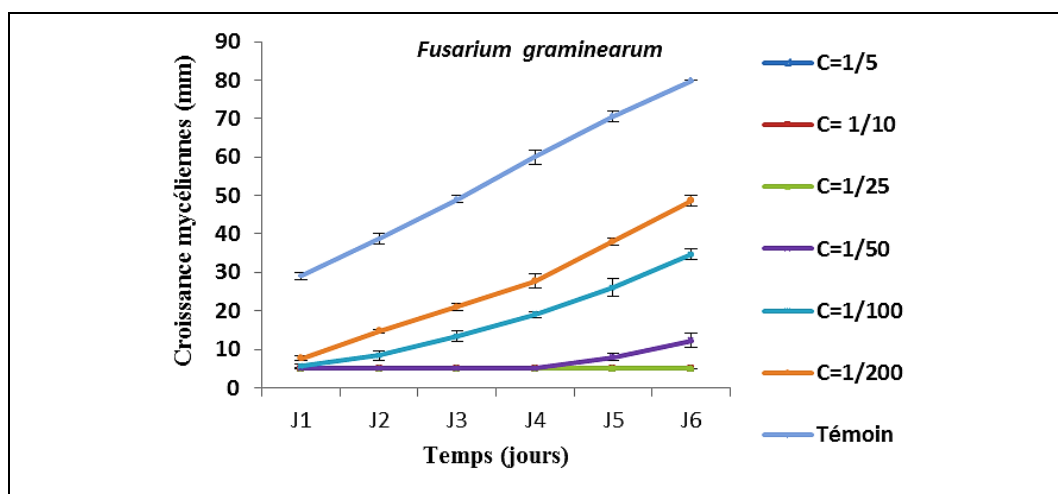


Figure 11 : La cinétique de la croissance mycélienne de la souche de *Fusarium graminearum* en fonction du temps et en présence de différentes concentrations de l'huile essentielle de *Mentha piperita*.

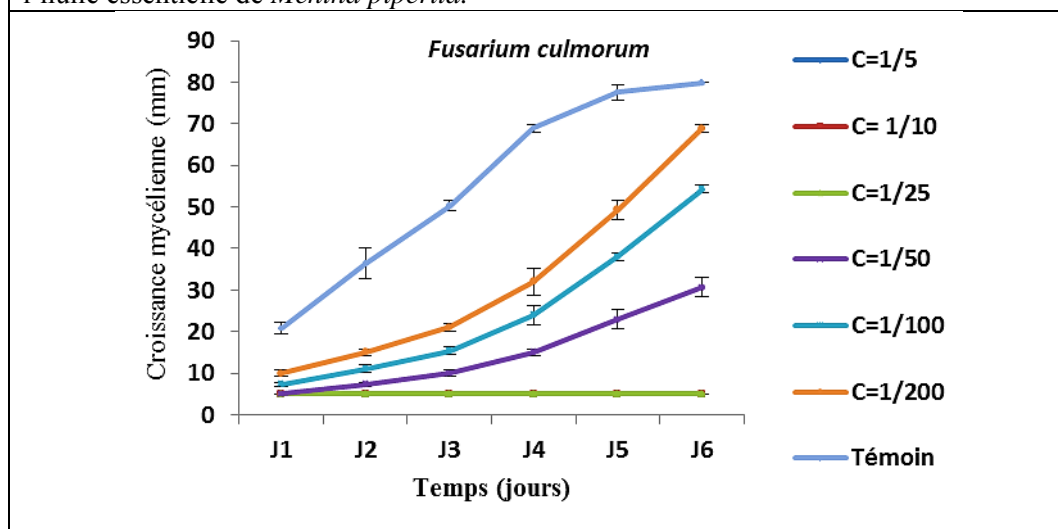


Figure 12 : La cinétique de la croissance mycélienne de la souche de *Fusarium culmorum* en fonction du temps et en présence de différentes concentrations de l'huile essentielle de *Mentha piperita*.

La mesure quotidienne des diamètres de la croissance mycélienne des deux souches étudiées et traitées avec l'HE nous a permis d'établir les courbes de la cinétique fongique (Figures 11 et 12).

Les figures ont été obtenues en utilisant l'huile essentielle de *Mentha piperita* collectée à Laghouat. Les diamètres de croissance des colonies des deux espèces testées ont présenté une forme croissante, en fonction du temps, sauf pour les dilutions 1/25, 1/10 et 1/5.

Les courbes montrent que l'échantillon de l'huile essentielle présente un effet inhibiteur sur la croissance mycélienne des souches étudiées. Lors de la comparaison des essais avec le témoin, nous avons déduit que ce dernier présente une croissance normale complète durant toute la durée d'incubation.

La cinétique fongique montre que la croissance mycélienne diminue proportionnellement avec l'augmentation des concentrations et du temps d'incubation. L'inhibition totale de la croissance des champignons est observée dans les dilutions 1/25, 1/10 et 1/5 pour les deux souches.

Ces résultats montrent que les deux souches de *Fusarium graminearum* et *Fusarium culmorum* commencent à proliférer dès le 2^{ème} jour de repiquage et s'arrêtent au 6^{ème} jour. Ainsi, la croissance des deux colonies des deux espèces traitées avec l'HE étudiée montre un comportement similaire concernant les vitesses de croissance.

Une diminution de la croissance mycélienne avec l'augmentation de la concentration en huile essentielle a été notée pour les deux souches.

Nous remarquons, par rapport au témoin, que l'huile essentielle de *Mentha piperita* diminue la croissance mycélienne des souches de *Fusarium culmorum*, dès le premier jour, jusqu'au sixième jour, aux concentrations 0,25 µl/ml et 0,5 µl/ml. La croissance mycélienne débute au deuxième jour pour la concentration 1 µl/ml et nous n'avons enregistré aucune croissance pour les concentrations 2 µl/ml, 4 µl/ml et 10 µl/ml.

Concernant l'effet de l'huile essentielle de *Mentha piperita* sur la souche *Fusarium graminearum*, nous remarquons qu'elle retarde la croissance de la souche dès le premier jour jusqu'au sixième aux concentrations 0,25 µl/ml et 0,5 µl/ml et un ralentissement de la croissance mycélienne concernant la concentration 1 µl/ml à partir du cinquième jour. Par

ailleurs, nous n'avons enregistré aucune croissance pour les concentrations 2µl/ml, 4µl/ml et 10µl/ml.

III.3.2. Evaluation de l'activité anti fongique

Le pouvoir anti fongique de l'huile essentielle étudiée a été évalué, par la méthode de contact direct, vis-à-vis de nos deux souches phytopathogènes du genre *Fusarium*, *F. culmorum* et *F. graminearum*. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-après.

La CMI est la concentration minimale en huile essentiel inhibant la croissance du mycélium et la CMF constitue la concentration minimale capable d'éliminer 80% de l'agent pathogène.

Tableau 5: Mesure du diamètre en millimètre et le pourcentage d'inhibition des deux espèces *Fusarium graminearum* et *Fusarium culmorum* traitées avec différentes dilutions d'huile essentielle de *Mentha piperita*.

Dilution	Concentration (µl/ml)	FC		FG	
		Ø (mm)	I (%)	Ø (mm)	I (%)
T	T		80		80
1/200	0.25	69	13,75	49	39,7
1/100	0.5	58	32,08	36	56,67
1/50	1	28	61,67	14	84,58
1/25	2	00	100	00	100
1/10	4	00	100	00	100
1/5	10	00	100	00	100

Le résultat du pouvoir antifongique de l'huile essentielle montre que la croissance mycélienne augmente avec la diminution de la concentration de l'extrait et elle varie d'une espèce à une autre.

En augmentant la concentration de l'extrait de l'huile essentielle, la croissance du mycélium diminue jusqu'à l'arrêt de croissance et/ou l'absence totale de croissance.

La CMI est identique pour les deux souches. Elle est de 2 µl/ml (dilution : 1/25)

Après la comparaison des pourcentages d'inhibition de l'huile essentielle sur les deux espèces, nous remarquons qu'il y a une légère différence de résistance entre les espèces testées.

Il apparaît que l'espèce *Fusarium graminearum* est plus sensible vis-à-vis de l'huile essentielle de *Mentha piperita* et que l'espèce *Fusarium culmorum* plus résistante (Figure 13).

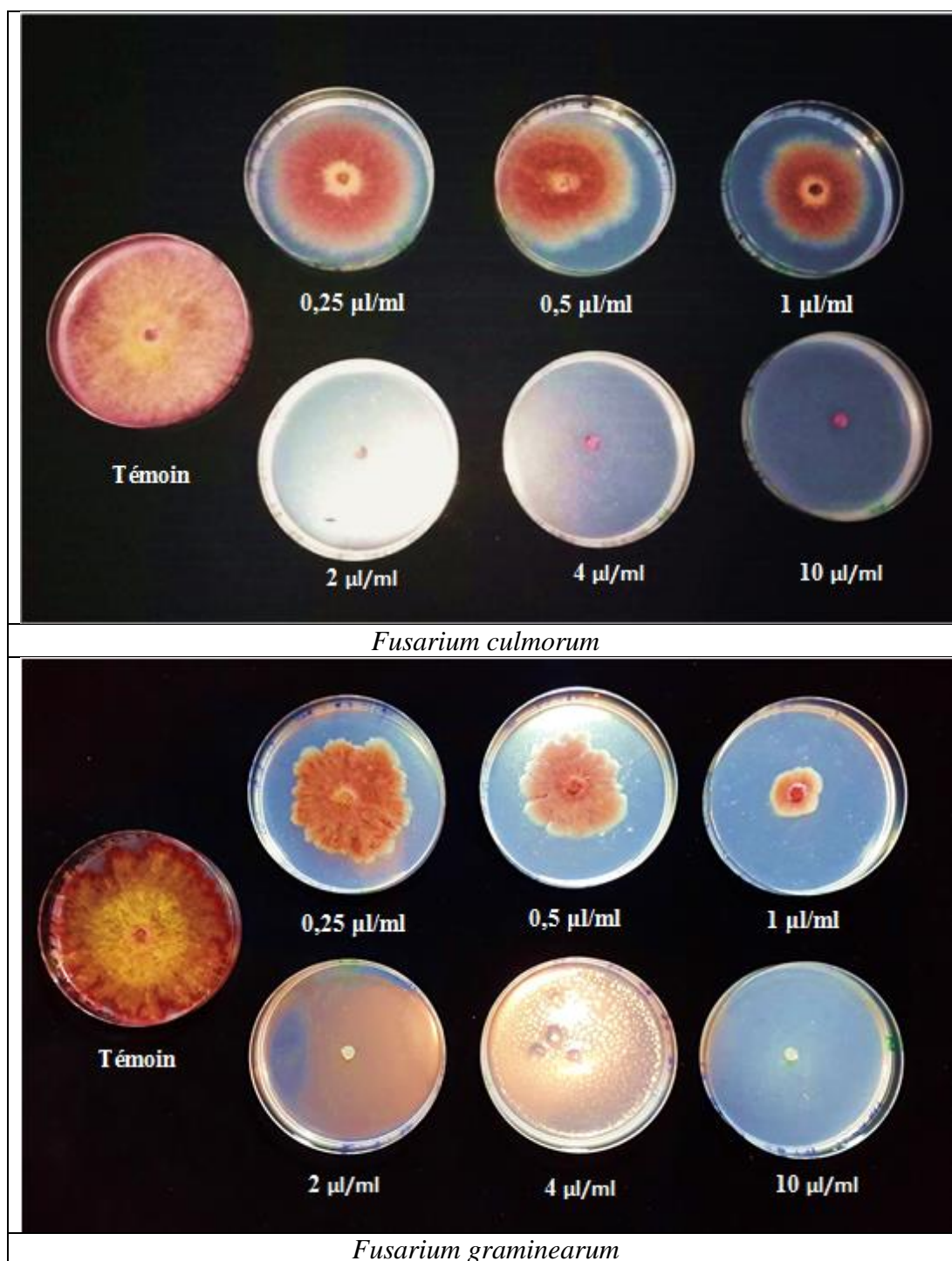


Figure 13 : L'activité antifongique de l'HE de *Mentha piperita* à différentes concentrations pour les deux espèces de *Fusarium*.

Comme il a été considéré dans d'autres travaux **Mehani et Goudjil (2015)** ; **Djaber et al., (2019)**, nous constatons, aussi, que l'effet antifongique observé dans ces résultats serait dû, essentiellement, à la nature des composés majoritaires de HE et/ou, un peu moins, à la nature de leur composés minoritaires.

Ameur et Rahmani et al., 2012 ont testé l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Mentha piperita* de la région de Laghouat sur la croissance de quatre espèces de *Fusarium* (*Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*). Ils ont montré une activité appréciable sur ces espèces. Par ailleurs, l'huile de *Mentha piperita* était fongicide sur la totalité des espèces, avec une sensibilité, légèrement, remarquée entre les quatre espèces testées.

Une étude a été réalisée par **Samie et Nefefe (2011)** sur l'effet de l'huile essentielle de *Mentha piperita* collectée à Harrar, en Zimbabwe, sur la croissance de cinq espèces de *Fusarium* (*Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium nygamai*, *Fusarium proliferatum* et *Fusarium verticillioides*) a testé l'activité de cette huile vis-à-vis des cinq espèces. La zone d'inhibition obtenue varie de 10 à 18 mm. Par ailleurs, l'HE de *Mentha piperita* s'est révélée fongicide sur quatre des cinq espèces de *Fusarium* (*Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium nygamai* et *Fusarium proliferatum*) ; avec une CMF allant de 3,75 à 7,50 mg/ml.

Freire et al, 2011 a montré qu'une concentration de 0,2% d'HE de *Mentha piperita*, collectée dans une région du Brésil, engendre une inhibition totale de deux souches de *Fusarium*, (*Fusarium oxysporum* et *Fusarium semitectum*).

Conclusion

Conclusion

Dans le cadre de la valorisation des produits naturels et la lutte contre les maladies phytopathogènes, nous avons tenté de trouver des solutions biologiques efficaces. Nous avons étudié pour mettre en valeur les propriétés antifongiques de l'huile essentielle de *Mentha piperita*, fréquemment connue sous le nom de Menthe poivrée, contre deux espèces fongiques phytopathogènes du genre *Fusarium* considéré comme le phytopathogène le plus répandue dans le monde. De plus, nous avons déterminé la composition chimique des constituant volatiles de l'huile essentielle et sa stabilité au cours du stockage sous des conditions favorables pendant trois ans. Pour effectuer une étude comparative, nous avons choisi de travailler avec l'huile essentielle de *Mentha piperita* issue de la partie aérienne de la plante, préalablement extraite et conservée soigneusement depuis un an, dans le cadre d'un autre travail, par hydrodistillation, à l'aide d'un appareil Clevenger au sein de notre université, Amar Telidji (laboratoire de recherche des Sciences Fondamentales ou LSF).

En nous basant sur les résultats issus de notre étude pratique, nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

Notre travail entrepris dans le cadre de la valorisation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Mentha piperita* et l'appréciation de son effet sur la croissance de deux souches mycéliennes du genre *Fusarium*, *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*.

Les résultats du pouvoir antifongique de l'HE testée par la méthode de contact direct ont montré des sensibilités remarquables et relatives des deux souches testées, par rapport aux témoins, à de faibles concentrations d'huile essentielle. Nous avons, aussi, constaté que l'espèce *Fusarium graminearum* est plus sensibles (84,58%) vis-à-vis de l'huile essentielle de *Mentha piperita*. Ainsi, l'espèce *Fusarium culmorum* apparait comme plus résistante ; avec un taux d'inhibition allant jusqu'à (61,67%).

La composition chimique des huiles essentielles a été identifiée à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse (CPG). Nous avons, ainsi, identifié 26 composés. Nous avons constaté que notre huile essentielle de *Mentha piperita* est riche en mono terpènes oxygénés (52,42%), tel que le Menthol (10,29%), une dominance de Cétones, comme la Pipéritone (53,8%), et en hydrocarbures mono terpénique (95,34%), le Limonène (31,16%) avec l'absence de sesquiterpènes oxygénés. Ces derniers représentent les composés majoritaires de cette huile.

L'étude de la composition chimique nous a permis de confirmer la qualité et la stabilité de l'huile essentielle après un stockage de trois ans ainsi que son activité et son efficacité vis-à-vis de l'activité antifongique comparée à une huile de la même espèce fraîchement extraite réalisée par d'autres études qui montrent un résultat similaire.

L'ensemble de nos résultats montre que l'huile essentielle de *Mentha piperita* a un effet inhibiteur contre les champignons *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*.

En effet, la sensibilité de ces dernières ouvre des possibilités d'utilisation de cette huile essentielle en agroalimentaire comme fongicide naturelle (bio-fongicide), riche en constituants antifongiques, comme alternative aux produits chimiques.

Cette activité naturelle a une relation directe avec la composition chimique de l'huile essentielle. Cependant, des recherches plus approfondies sont nécessaires pour évaluer l'efficacité de cette huile essentielle.

À l'issue de nos résultats, des perspectives générales peuvent être ajoutées afin d'entamer des recherches plus poussées :

- Études de l'efficacité et la faisabilité de l'application des huiles essentielles comme fongicide naturel ;
- Étude comparative de plusieurs échantillons de la même espèce avec des conditions édapho-climatiques différentes et des conditions d'extraction différentes afin de connaître l'impact de ces facteurs sur la composition de l'huile essentielle ;
- La purification et l'identification des composés ayant une activité antifongique ;
- Élargir la gamme des souches étudiées.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

A

Abdi K., Moulai H.,(2018). Evaluation du pouvoir antifongique et études de la composition chimique de quatre huiles essentielles de plantes locales. (Mémoire de Master). Université Ammar El Thelidji, Laghouat.p31-35.

Addadi, H., Ferradji, S.M.,(2014). Extraction d'huile essentielle d'une plante médicinale « La Menthe ». (Mémoire de Licence). Université Dr. MOULAY Tahar, Saida.p4, 8, 11, 14, 16,19.

Alamgir, A. N. M. (2018). Therapeutic Use of Medicinal Plants and Their Extracts: Volume 1. SPRINGER INTERNATIONAL PU.DOI 10.1007/978-3-319-63862-1. p10

Ameur, M., Rahmani, F.Z ., (2012). Etude de l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Mentha piperita* vis- à-vis *Fusarium oxysporum*.f.sp *albedinis* et *Fusarium oxysporum*.f.sp.*lycopersici*. (Mémoire de Master). Université Ammar El Thelidji, Laghouat.p21-25

B

Babushok, V. I., Linstrom, P. J., & Zenkevich, I. G. (2011). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland 20899, USA, Retention Indices for Frequently Reported Compounds of Plant Essential Oils. J. Phys. Chem. Ref. Data, 40, 43101-1..DOI:10.1063/1.3653552.

Ballois, N. (2012). Characterisation of the diversity of *Fusarium* species and their mycotoxigenic potential on French cereals (Doctoral dissertation, Université de Lorraine)..p6,7.

Bengana K.,2018. Etude de l'activité antioxydant et composition chimique des huiles essentielles de quelque plantes de la famille des Lamiacées. Master. Université Ammar El Thelidji, Laghouat.p41, 42,44-46

Benouali D.,(2016). Extraction et identification des huiles essentielles. (Mémoire de Master). Université des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF. p4, 5 ,6.

C

Cambaza, E., Koseki, S., & Kawamura, S. (2019). *Fusarium graminearum* colors and Deoxynivalenol synthesis at different water activity. Foods, 8(1), 7.DOI:10.3390/foods8010007

D

da Silva Ramos, R., Rodrigues, A. B. L., Farias, A. L. F., Simões, R. C., Pinheiro, M. T., Ferreira, R. M. D. A., ... & de Almeida, S. S. M. D. S. (2017). Chemical composition and in

vitro antioxidant, cytotoxic, antimicrobial, and larvicidal activities of the essential oil of *Mentha piperita* L.(Lamiaceae). The Scientific World Journal, 2017.

de Oliveira, M. S., Almeida, M. M., Salazar, M. D. L. A. R., Pires, F. C. S., Bezerra, F. W. F., Cunha, V. M. B., ... & Pinto, R. H. H. (2018). Potential of Medicinal Use of Essential Oils from Aromatic Plants. Potential of Essential Oils, 1.DOI:10.5772/intechopen.78002.

Debbab, A., Mosaddak, B., Aly, A. H., Hakiki, A., & Mosaddak, M. (2007). Chemical characterization and toxicological evaluation of the essential oil of *Mentha piperita* L. growing in Morocco. Science Study Resources, 8(3), 281-288.

Desam, N. R., Al-Rajab, A. J., Sharma, M., Mylabathula, M. M., Gowkanapalli, R. R., & Albratty, M. (2019). Chemical constituents, in vitro antibacterial and antifungal activity of *Mentha*× *Piperita* L.(peppermint) essential oils. Journal of King Saud University-Science, 31(4), 528-533.

Djaber M.I., Benlahbib K., Gourine L.D., (2019). Evaluation de l'activité antifongique de six huiles essentielles vis-à-vis de quelques formes spéciales de *Fusarium oxysporum*.(Mémoire de Master). Université Ammar El Thelidji, Laghouat.p31, 32,3

F

Freire, M. M., Jham, G. N., Dhingra, O. D., Jardim, C. M., Barcelos, R. C., & Valente, V. M. M. (2012). Composition, antifungal activity and main fungitoxic components of the essential oil of *Mentha piperita* L. Journal of Food Safety, 32(1), 29-36.. Doi :10.1111/j.1745-4565.2011.00341. x.

G

Garcia-Cela, E., Kiaitsi, E., Medina, A., Sulyok, M., Krska, R., & Magan, N. (2018). Interacting environmental stress factors affects targeted metabolomic profiles in stored natural wheat and that inoculated with *F. graminearum*. Toxins, 10(2), 56.

H

Hüsni Can Başer, K., & Buchbauer, G. (2015). Handbook of essential oils: science, technology, and applications. Handbook of essential oils: science, technology, and applications., (Ed. 2).p5, 6.p143, and 144.p43-45.

Handa, S. S. (2008). An overview of extraction techniques for medicinal and aromatic plants. Extraction technologies for medicinal and aromatic plants, 1..p7.

I

INPN. (2020, avril) Taxonomie *Fusarium culmorum*. (Inventaire national du patrimoine naturel Muséum national d'Histoire naturelle).Consulté à l'adresse https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/868746/tab/taxo

K

KHELLAF N.E., (2017). Effet des propriétés physicochimiques et du pouvoir antibactérien de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* « Formes Fraiche et Séchée ». (Mémoire de Master). Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.p9-10

L

Lawless, J. (2013). The Encyclopedia of essential oils: the complete guide to the use of aromatic oils in aromatherapy, herbalism, health, and well being. Conari Press.p236-237

Lawrence, B. M. (Ed.). (2006). Mint: the genus *Mentha*. CRC Press.. p508

M

Máthé, Á. (2015). Introduction: Utilization/significance of medicinal and aromatic plants. In Medicinal and Aromatic Plants of the World (pp. 1-12). Springer, Dordrecht.. p459.

Mehani, M., Segni, L., Terzi, V., Morcia, C., Ghizzoni, R., Goudjil, M. B., & Bencheikh, S. E. (2015). Antibacterial, antifungal activity and chemical composition study of essential oil of *Mentha piperita* from the south Algerian. Der Pharma Chemica, 7(12), 382-387.. ISSN 0975-413X.

N

Nodet P., Olivard P.,(2020,Avril14). Mycologie les Fusarium. Université de Bretagne Occidentale. ESIAB (École Supérieure d'Ingénieurs en Agroalimentaire de Bretagne atlantique). Consulté à l'adresse

http://www.univbrest.fr/esiabscientifique/Mycologie/Principaux_groupes/Les+Fusarium

Nodet P., Olivard P., (2020, Avril14). Mycologie Fusarium graminearum . Université de Bretagne Occidentale. ESIAB (École Supérieure d'Ingénieurs en Agroalimentaire de Bretagne atlantique). Consulté à l'adresse

<http://www.univbrest.fr/esiabscientifique/Mycologie/Les+fiches+pratiques/fusagramin>

Nodet P., Olivard P., (2020, Avril14). Mycologie les Fusarium. Université de Bretagne Occidentale. ESIAB (École Supérieure d'Ingénieurs en Agroalimentaire de Bretagne atlantique). Consulté à l'adresse

<http://www.univbrest.fr/esiabscientifique/Mycologie/Les+fiches+pratiques/fusaculmo>

P

Pasquali M., Spanu F., Scherm B., Balamas V., Hoffmann L., Hammond-Kosack K.E., Beyer M., Migheli Q., 2013. FcStuA from *Fusarium culmorum* Controls Wheat Foot and Root Rot in a Toxin Dispensable Manner. PLOS ONE(8).2.DOI: 10.1371/journal.pone.0057429.

Pl'uchtová, M., Gervasi, T., Benameur, Q., Pellizzeri, V., Grul'ová, D., Campone, L., ... & Cicero, N. (2018). Antimicrobial activity of two *Mentha* species essential oil and its

dependence on different origin and chemical diversity. *Natural Product Communications*, 13(8), 1934578X1801300832.

R

Robert, V., Vu, D., Amor, A. B. H., van de Wiele, N., Brouwer, C., Jabas, B., ... & Chouchen, O. (2013). MycoBank gearing up for new horizons. *IMA fungus*, 4(2), 371-379.

S

SAMIE, A., & NEFEFE, T. (2012). Antifungal activities of essential oils from Southern African medicinal plants against five *Fusarium* species. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(3), 465-478., p.465-478.

Scherm, B., Balmas, V., Spanu, F., Pani, G., Delogu, G., Pasquali, M., & Migheli, Q. (2013). *Fusarium culmorum*: causal agent of foot and root rot and head blight on wheat. *Molecular plant pathology*, 14(4), 323–341. <https://doi.org/10.1111/mpp.12011>

Surendra, A., & Cuperlovic-Culf, M. (2017). Database of resistance related metabolites in Wheat *Fusarium* head blight Disease (MWFD). Database, 2017.; DOI:10.1093/database/bax076

T

Tullio, V., Roana, J., Scalas, D., & Mandras, N. (2019). Evaluation of the antifungal activity of *Mentha x piperita* (Lamiaceae) of Pancalieri (Turin, Italy) essential oil and its synergistic interaction with azoles. *Molecules*, 24(17), 3148. DOI :10.3390/molecules24173148.

Twaila Z., Motri S.,(2015). Cours de génie des procédés alimentaires 1. p8. Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Zaghuan, Tunisie.

Annexes

Annexe

Composition des milieux de culture utilise :

1. Potatoes dextrose Agar (PDA) ; pour les champignons.

Pomme de terre pelés.....	200 g
Glucose.....	20 g
Agar-agar.....	15 g
Eau distillée.....	q. s. p. 1 L



Figure14 : milieu de culture PDA préparé

2. Solution d' Agar à 0,2%

Agar-agar.....	2 g
Eau distillée.....	1 L

